

Análisis energético, económico y ambiental del sistema un fotovoltaico conectado a la red bajo las condiciones climáticas de Chachapoyas

Energy, economic and environmental analysis of a grid-connected photovoltaic system under the climatic conditions of Chachapoyas

Wildor Gosgot Angeles^{1*}, Ruel Guevara Diaz², Fernando Espinoza Canaza¹, Manuel Oliva-Cruz², Miguel Angel Barrena Gurbillon²

RESUMEN

El crecimiento poblacional ha generado escasez del recurso energético, conllevando al agotamiento de los hidrocarburos, por ello se viene implementando los sistemas fotovoltaicos conectados a la red (SFCR) como alternativa ante la crisis energética y como fuente de energía limpia. Esta investigación tiene como objetivo analizar energéticamente, económicamente y ambientalmente el SFCR de 3,3 kW instalado en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM-A). Para ello, se determinó la energía producida por el sistema, costos de implementación y los indicadores económicos mediante la energía producida durante la vida útil del sistema (25 años). La energía producida por el SFCR durante el periodo de evaluación (setiembre 2018- agosto 2020) fue de 8,280.61 kWh, con una irradiación promedio anual de 1,453.58 kWh/m². La implementación de un SFCR requiriere de una inversión inicial de S/. 20,582.99 y valor actual de costo (VAC) de S/23,020.83; el resultado del beneficio económico fue de un Valor presente neto (VPN) de S/37,180.44, tasa interna de retorno (TIR) de 16 %, el periodo de recuperación simple (PRS) 6.84 años y un beneficio costo (B/C) de 2.62, teniendo un costo de energía residencial de S/. 0.8423 una tasa de descuento 3%. Se logró determinar que la implementación de un SFCR es económicamente viable. La cantidad de CO₂ no emitido a la atmosfera durante el periodo de evaluación fue de 4,405.28 kg CO_{2-eq}/año. Se deduce que el sistema es respetuoso con el medio ambiente y se puede tener beneficios con los bonos de carbono.

Palabras clave: irradiancia, energía, SFCR, análisis económico, costo-beneficio.

ABSTRACT

Population growth has generated a shortage of energy resources, leading to the depletion of hydrocarbons, which is why grid-connected photovoltaic systems (SFCR) are being implemented as an alternative to the energy crisis and as a source of clean energy. The objective of this research is to analyze energetically, economically and environmentally the 3.3 kW SFCR installed at the Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM-A). For this purpose, the energy produced by the system, implementation costs and economic indicators were determined through the energy produced during the useful life of the system (25 years). The energy produced by the SFCR during the evaluation period (September 2018-August 2020) was 8,280.61 kWh, with an average annual irradiation of 1,453.58 kWh/m². The implementation of a SFCR requires an initial investment of S/. 20,582.99 and present value of cost (VAC) of S/23,020.83; the result of the economic benefit was a Net Present Value (NPV) of S/37,180.44, internal rate of return (IRR) of 16%, simple payback period (SRP) 6.84 years and a benefit cost (B/C) of 2.62, having a residential energy cost of S/. 0.8423 and a discount rate 3%. It was determined that the implementation of a SFCR is economically viable. The amount of CO₂ not emitted to the atmosphere during the evaluation period was 4,405.28 kg CO_{2-eq} / year. It can be deduced that the system is environmentally friendly and can benefit from carbon credits.

Keywords: irradiance, energy, SFCR, economic analysis, cost-benefit.

¹Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva, Chachapoyas, Perú

²Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Chachapoyas, Perú

*Autor de correspondencia. E-mail: wildor.gosgot@untrm.edu.pe

I. INTRODUCCIÓN

Cubrir la demanda de energía eléctrica, se ha convertido en un problema a nivel global, ya que mayoría de países utilizan fuentes no renovables (hidrocarburos), lo que conlleva a grandes problemas ambientales como el calentamiento global y el cambio climático (IEA, 2020). Los combustibles fósiles cubren el 80 % de la demanda energética primaria a nivel global, en consecuencia, es responsable de los dos tercios de la emisión de CO₂, si esta tendencia continua en los próximos años, se tendrá consecuencias irreversibles en la flora y fauna, así como en la salud de la población humana, ya que podría incrementar la temperatura media global de 2° C (NU, 2019).

Para mitigar los efectos adversos del uso de combustibles no renovables se viene implementando sistemas de generación eléctrica de fuentes renovables (eólica, solar, hidráulica, biomasa, entre otros biocombustibles sólidos o líquidos). En este contexto, en el año 2019, la energía renovable producida a nivel mundial fue de 2,532.866 GW de los cuales 584.842 GW fue de energía solar (IRENA, 2021).

Para estudiar la viabilidad de un proyecto de energías renovables, los criterios a tener en cuenta es el técnico, económico y ambiental (Zwaan *et al.*, 2016). Los aspectos técnicos son: ubicación, orientación, irradiación solar, tipo de panel fotovoltaico y tipo de inversor (Gradella, 2017). Para el análisis económico de un SFCR se utiliza el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR), la inversión inicial, el periodo de recuperación simple (PRS) y la relación beneficio costo (B/C) (Chávez *et al.*, 2020). En el análisis ambiental, se toma en cuenta la cantidad de CO₂ equivalente no emitido a la atmosfera (CO_{2-eq}), en base a la energía producida por el sistema y el mix energético de cada país (Fontana, 2017).

Existen estudios que han evaluado los SFCR en base a los indicadores económicos antes mencionados, por ejemplo, en Arequipa Beltran *et al.*, (2016), realizaron un estudio de un sistema fotovoltaico de 3,3 kW, donde obtuvieron un VAN de 10.708 US\$, TIR 10,7% y PRS 11,6 años, el cual su costo de la energía producida por

el SFCR fue de 0,10 US\$/kWh.

Por su parte, Romero-Fiances *et al.*, (2019), evaluaron el desempeño energético de un sistema fotovoltaico monocristalino con una capacidad instalada de 3,3 kW en Arequipa, resultando un rendimiento anual de 1770-1992 kWh, mientras que el mismo sistema instalada en Tacna presento un rendimiento anual de 1505-1540 kWh. Por último, en Lima analizaron un sistema fotovoltaico policristalino de 3 kW de potencia instalada obteniendo un rendimiento anual de 736-833 kWh. Espinoza *et al.*, (2019), analizaron económicamente los sistemas antes mencionados obteniendo un VAN 2,165.14 US\$ y TIR de 14.38 % en Arequipa, mientras que en Tacna estimaron un VAN 483.31 US\$ y TIR 12.09 % y en Lima calcularon un VAN 1491.30 US\$ y TIR 9.11 %. Por otra parte, Sánchez (2017), estudio el beneficio ambiental de un SFCR de potencia nominal de 27 kW, cuyo resultado fue una reducción de CO₂ emitido a la atmósfera en una cantidad de 20,18 toneladas de CO₂ equivalente por año (CO_{2-eq}/año). Por ello, la investigación se basó en analizar el costo beneficio del SFCR policristalino instalado en la UNTRM durante el periodo 2018- 2020, para lo cual se realizó el análisis energético, económico y ambiental.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se desarrolló en el campus de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), ubicada en el Distrito de Chachapoyas, Provincia de Chachapoyas, Región Amazonas (6°14'3.45"S y 77°51'11.54"O). (Figura S1). La unidad de estudio se ubica a una altitud de 2335 m.s.n.m., en al cual presenta unas precipitaciones promedio anual de 800 mm. (Rascón *et al.*, 2021). Además, presenta una temperatura ambiente promedio de 15.42 °C y una irradiación promedio diaria de 3.98 kWh/m², según los datos registrados durante el periodo de evaluación del sistema (setiembre 2018 - agosto 2020).

Caracterización energética del sistema

El estudio del SFCR, se realizó con el análisis del comportamiento de las variables como la irradiancia y la

energía producida por el sistema durante el periodo de evaluación (septiembre 2018 - agosto 2020). El sistema cuenta con 12 paneles fotovoltaicos policristalinos de marca Yingli Solar, tipo de módulo YL260-29b (Tabla S1), los cuales están instalados en serie (3,3 kW); orientados de norte hacia el sur, levantado la parte sur con un ángulo de 15°. El SFCR cuenta con un inversor de marca SMA, modelo SUNNY BOY SB 5000TL-21 (Tabla S2), el cual tiene una programación de registro de datos de potencia total en intervalos de 30 minutos, cuyos datos pueden ser visualizados a través del software Sunny explorer. En la Figura S2 se muestra el esquema de instalación de los componentes del SFCR.

Proyección de energía

La proyección de energía se realizó en base a los datos registrados durante el periodo de evaluación (septiembre 2018 - agosto 2020). Del tercer año al décimo se proyectó teniendo en cuenta la ecuación (1) y ecuación (2), donde CR es el coeficiente de rendimiento, Rli es el rendimiento real leído en las instalaciones, H es la irradiación, Pi es la potencia instalada, Ea es la energía anual y Hsa son las horas solares anuales (SMA Solar Technology, 2018). Teniendo una cantidad de 4.1 horas solares diarias, durante los 30 días de cada mes (CD, 2019). A partir del décimo año hasta el año 25 se consideró como criterio la pérdida de eficiencia del 0.5 % anual del SFCR (SMA Solar Technology AG, 2016).

$$CR = \frac{Rli}{H * Pi} \quad (1)$$

$$Ea = CR * Hsa * Pi \quad (2)$$

Estimación del costo del sistema fotovoltaico conectado a la red

La estimación de costos se realizó basados en criterios principales como: costos de instalación, costos de materiales y costos de los componentes del SFCR (panel e inversor) (Chávez *et al.*, 2020). Además, para evaluar económicamente los SFCR se tuvo en cuenta un costo operación y mantenimiento de S/. 140

anuales e indicadores de los proyectos verdes, como el caso de la tasa de descuento de 3% para periodos de 6 a 25 años (Pasqual y Padilla, 2011; Restrepo, 2018). El valor actual de costos (VAC), se obtuvo en base a los costos anteriormente descritos, para el cual se utilizó la siguiente ecuación (3). Donde Qn₋ son los flujos de caja negativos, r es la tasa de descuento para proyectos verdes y n es el periodo de evaluación.

$$VAC = \sum_{i=1}^n \frac{Qn_{-}}{(1+r)^n} \quad (3)$$

Estimación del beneficio del sistema fotovoltaico conectado a la red

Este análisis fue fundamentado en el comportamiento de cinco parámetros: valor actual de costo, valor presente neto, tasa interna de retorno, período de recuperación simple y beneficio costo (Beltran *et al.*, 2016). La cantidad de energía registrada fue expresada en estado monetario, teniendo un costo de energía residencial de S/. 0.8423 por kWh (EO, 2021). En el caso del beneficio ambiental se calculó la cantidad de CO_{2-eq} no emitido a la atmosfera (Torres, 2019).

El beneficio económico se calculó con las ecuaciones 4 - 8 Donde Qn₊ son los flujos de caja positivos, Qn son los flujos de caja neto, n es el periodo de evaluación, I es la inversión inicial, r es la tasa de descuento para proyectos verdes, ρ es la TIR, Ft son los flujos de caja futuros acumulados, VAC es el valor actual de costo y VAB es el valor actual de beneficio.

$$VAB = \sum_{i=1}^n \frac{Qn_{+}}{(1+r)^n} \quad (4)$$

$$VPN = -I + \sum_{i=1}^n \frac{Qn}{(1+r)^n} \quad (5)$$

$$VPN = -I + \sum_{i=1}^n \frac{Qn}{(1+\rho)^n} = 0 \quad (6)$$

$$PRS = |I| \approx \sum Ft \quad (7)$$

$$\frac{B}{C} = \frac{VAB}{VAC} \quad (8)$$

El beneficio ambiental (CO_{2-eq} no emitido a la atmósfera) se calculó en base al mix energético en Perú para el sistema eléctrico interconectado nacional (SEIN) (0,615 kg de CO_{2-eq} /kWh) y 0,083 kg de CO_{2-eq} /kWh para sistemas fotovoltaicos, utilizando la ecuación (9) planteada por Torres, (2019). Donde Ea es la energía anul y $MesP$ es el mix energético del sistema en Perú.

$$CO_{2-eq}/año = Ea * MesP \quad (9)$$

III. RESULTADOS

Rendimiento energético del sistema del sistema fotovoltaico conectado a la red

El sistema fotovoltaico conectado a la red transforma en electricidad el 86 %, de toda la irradiación incidente en área de estudio. Por lo que, desde setiembre del 2018 hasta agosto del 2020 se generó 8,280.61 kWh, con una irradiación acumulada de 2,907.15 kWh/m². En la Figura S3, se observa que la irradiación presenta una relación directa a la energía fotovoltaica, además, podemos apreciar que partir del mes de febrero hay un incremento en cuanto a la energía fotovoltaica e irradiación y a partir del mes de julio se presenta un descenso.

Análisis de costos del sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR)

La inversión inicial para la puesta en operación del sistema fotovoltaico conectado a la red de 3,3 kW, fue de S/. 20,582.99. Los paneles fotovoltaicos presentaron el 33 % de la inversión, con una cantidad S/. 6,720.00, seguido por el inversor con un valor de S/. 5,561.21, representando el 27 % del total. El resto de la inversión se concentró en los costos de materiales, así como en el servicio de instalación. Además, los sistemas fotovoltaicos en el Perú no tienen un régimen especial, por lo cual se agregó el 18 % del impuesto general de las ventas según nuestras normativas económicas (Tabla S3). El costo de mantenimiento se estima de S/. 140 anuales. Considerando el costo de instalación, operación y mantenimiento, el valor actual de costo (VAC), calculado fue de S/. 23,020.83.

Análisis de beneficios del sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR)

Análisis de beneficios energético económico

La mayor cantidad de energía fotovoltaica e ingresos se estima en los 10 primeros años del funcionamiento del sistema, a partir del décimo año el sistema presenta un descenso debido al deterioro esto basado en las especificaciones técnicas de degradación tecnológica a una tasa de 0.5 %. La mayor cantidad de energía e ingresos se produjo en el año 2020 con 4,189.14 kWh y S/3,528.51 respectivamente y la menor cantidad de energía e ingresos se estima para el año 2043 con valores de 3,884.30 kWh y S/. 3,271.75 (Figura S4).

El beneficio generado por el SFCR es de S/. 1.62 por cada sol invertido, además se obtuvo un valor presente neto (VPN) de S/. 37,180.44, un periodo de recuperación simple (PRS) de 6.84 años y una tasa interna de retorno (TIR) de 16 % siendo mayor en comparación de a la tasa de interés para proyectos verdes (3 %), lo cual indica que la inversión económica es viable (Tabla S4).

Análisis del beneficio ambiental

La cantidad de CO_{2-eq} -equivalente/año (kg CO_{2-eq} /año), calculado para SEIN y el SFCR, durante el periodo de evaluación, fue de 5,092.57 y 687.29 respectivamente (Figura S5S A). Mientras que el beneficio ambiental es de 4,405.28 kg CO_{2-eq} /año para dicho periodo (Figura S5S B). La mayor cantidad de CO_{2-eq} /año para el SEIN, SFCR y beneficio ambiental se presentó en el año 2020 y la menor cantidad se presentó en el año 2043.

IV. DISCUSIONES

La energía producida por el sistema presenta una relación directa con la irradiación solar. La irradiación promedio anual en Chachapoyas se encuentra en un rango de 1,437.05 kWh/m² a 1,470.10 kWh/m², mientras que la energía fotovoltaica anual oscila entre 4,091.47 kWh a 4,189.14 kWh, respectivamente. Los meses con mayor irradiación son de mayo - agosto, esto se debe a que en Chachapoyas en ese periodo se encuentra dentro de época seca que se da de abril a septiembre (Rascón *et al.*, 2021).

El sistema fotovoltaico conectado a la red estudiado

por Romero-Fiances *et al.*, (2019), tiene la misma potencia y ángulo de inclinación que el sistema evaluado. La ciudad de Chachapoyas ($6^{\circ}14'3.45''S$, $77^{\circ}51'11.54''O$ y una altitud de 2335 m.s.n.m), presenta mayor potencia energética (4140.30 kWh), que la ciudad de Arequipa (latitud $16.40^{\circ} S$, longitud $71.53^{\circ} O$, altitud 2335 m.s.n.m) (1770-1992 kWh), a pesar que la irradiación en el área de estudio (1453.58 kWh/m^2) es inferior a la de Arequipa (2380 kWh/m^2). Esto se debe a las diferentes marcas y eficiencias de los equipos utilizados. Por lo que la energía producida por un sistema fotovoltaico depende la ubicación de la instalación, el tipo de panel e inversor y las condiciones climáticas.

La implantación de un SFCR de 3,3 kW, en la ciudad de Chachapoyas requiere una inversión inicial de S/20,582.99 y presenta un VPN de S/. 37,180.44, una TIR 16%, PRS 6.84 y un B/C de 2.62. En la ciudad de Arequipa, Beltran *et al.*, (2016), estimo que la implementación de un SFCR de 3,3 kW en la ciudad de Arequipa, requiere una inversión inicial de US\$ 3,850 y presento un VAN de US\$ 10,708, una TIR de 10,7% y un PRS de 11,6 años. Estos resultados difieren por la diferencia de costo de energía y tasa de descuento. Beltran *et al.*, (2016), evaluaron con un costo de energía de 0.10 US\$/kWh y una tasa de descuento del 5 % (tomando en cuenta un índice medio para inversores pequeños en bancos locales), mientras que la evaluación realizada en Chachapoyas, se evaluó con un costo de energía residencial de S/. 0.8423 por kWh y una tasa de descuento para proyectos verdes de 3%. Por otra parte, Chávez *et al.*, (2020), evaluaron un SFCR de 2.96 kW, instalado en Juliaca, donde requirió de una inversión inicial de S/. 29,417.55 y presento un VPN S/.12, 806.02, TIR 13 %, PRS 12 Años y un B/C de 1.6. Estos resultados, muestran diferencia con los encontrados en la presente investigación, debido a que por su parte Chávez *et al.*, (2020), evaluaron con un costo de energía de S/. 0.6545 por kWh y una tasa de descuento del 8.58 % teniendo en cuenta el índice medio para sistemas fotovoltaicos. Analizando los costos benéficos y los demás indicadores económicos, los SFCR

demuestran ser económicamente viables. Además, van a depender de la zona de instalación ya que, existen diferencias en el costo de la electricidad por regiones.

La cantidad de $\text{CO}_2\text{-eq}$ no emitido a la atmosfera depende de la cantidad de energía producida del sistema, la cual se considera en comparación a la energía que se tendría que demandar del mix energético del SEIN. Por otra parte, se considera la emisión de $\text{CO}_2\text{-eq}$ con generación fotovoltaica, para luego sacar la diferencia entre la emisión de $\text{CO}_2\text{-eq}$ del SEIN y el $\text{CO}_2\text{-eq}$ que se emite al utilizar energía fotovoltaica, dando como resultado la cantidad de $\text{CO}_2\text{-eq}$ que se evitó emitir al ambiente durante la operación del sistema evaluado. En el año 2019 se produjo 4,091.47 kWh de energía fotovoltaica; en el cual se reduce las emisiones de 2,176.66 kg $\text{CO}_2\text{-eq}$ /año. Por otro lado, Sánchez, (2017), determino que con la implantación de un SFCR redujo las emisiones de 20,18 toneladas de $\text{CO}_2\text{-eq}$ /año, por la producción 78,560 kWh, de energía. Estos resultados muestran diferencia a los encontrados, debido a que por su parte Sánchez evaluó un SFCR de 27 kW, con mix energético del SEIN de 0.4946 kg de $\text{CO}_2\text{-eq}$ /kWh, mientras que la actual investigación se evaluó con la diferencia del mix energético del SEIN (0,615 kg de $\text{CO}_2\text{-eq}$ /kWh) y del SFCR (0,083 kg de CO_2 /kWh). Del mismo modo Torres, (2019), evaluó el beneficio ambiental de un SFCR, en donde evitó emitir 1,011,784.18 kg $\text{CO}_2\text{-eq}$ /año por la producción de 1,901,849.96 kWh/año de energía fotovoltaica. Estos resultados muestran diferencia, debido a la potencia instalada. Por su parte Torres, (2019), evaluó un SFCR de 1000.08 kW, con un mix energético igual que la reciente investigación.

V. CONCLUSIONES

El Sistema fotovoltaico conectado a la red con tecnología policristalino con una potencia de 3,3 kW, bajo las condiciones climáticas de Chachapoyas. Se estimó que la producción promedio de energía entre los años 2019 al 2028 será de 4 MW anual y a partir del año 2029 el sistema tendrá una degradación tecnológica del 0.5 % anual, cuya producción energética depende

la inclinación, irradiación, parámetros climatológicos, así como, las características técnicas de los equipos del sistema, la degradación tecnológica y el periodo de mantenimiento del sistema.

El costo de inversión, operación y mantenimiento del SFCR de 3,3 kW es de S/. 23,020.83 a lo largo de la vida útil del sistema (25 años). El beneficio económico del SFCR obtenido a una tasa de descuento del 3% y un costo de energía residencial de S/, 0.8423/kWh es de S/. 1.62 por cada sol invertido, además, presenta un PRS de 6.84 años, una TIR de 16 % y un VPN de S/. 6,701.94. Por lo que se demuestra que la implantación de SFCR es económicamente viable y esta depender de la zona de instalación ya que, existen deferencias en el costo de la electricidad por regiones en Perú y además son afectados por el impuesto general de las ventas; por lo que se es necesario tener una normativa especial económica para estos sistemas fotovoltaicos. Se ha estimado que el beneficio ambiental (kg de CO₂-eq/año) que genera el SFCR de 3,3 kW, en promedio entre los años 2019 al 2028 es de 2,222.78 kg de CO₂-eq/año y partir del año 2029 presentara un descenso de 11 kg de CO₂-eq/año, debido a la degradación tecnológica del sistema (0.5 %). La cantidad de CO₂-eq no emitido a la atmosfera depende de la cantidad de energía producida, además, se deduce que el sistema es respetuoso con el medio ambiente y se puede tener benéficos con los bonos de carbono y a la vez propicia para el impulso del desarrollo sostenible con una matriz energética renovable.

IX. AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto “Creación del Centro de Investigación en Climatología y Energías Alternativas” (PROCICEA), del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) de la UNTRM, por la asistencia técnica para la instalación del sistema de fotovoltaico empleado en la presente investigación.

X. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Todos los autores participaron en la conceptualiza-

ción, metodología, investigación, redacción del manuscrito inicial, revisión bibliográfica, y en la revisión y aprobación del manuscrito final.

XI. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beltran, N., M. Tinajeros y, F. Morante. 2016. "Análisis Económico de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red en Arequipa". *Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente, II(XXIII)*, 14-19. São Paulo (Brasil).
- Chávez, V., R. Condori, P. Puma, y N. Beltrán. 2020. "Diseño, implementación y análisis económico de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) de 3 kW con convertidores cc/cc analizado en las condiciones geográficas y climatológicas la ciudad de Juliaca". *Ñawparisun - Revista de Investigación Científica*, 3(1), 13-22. DOI: 10.47190/nric.v3i1.122
- CD. 2019. *Clima Chachapoyas: Temperatura, Climaograma y Tabla Sclimática para Chachapoyas*. <https://es.climate-data.org/americadel-sur/peru/amazonas/chachapoyas-4066/#temperature-graph> (Consultada el 20 marzo de 2022)
- EO. 2021. *Recibo de Luz de la Universidad Nacional Toribio Rodriguez De, Mendoza- Amazonas*. <http://www.elor.com.pe/iscon/imgrecibo.aspx> (Consultada 15 de agosto de 2022)
- Espinoza, R., E. Muñoz, J. Aguilera, and J. Casa. 2019. "Feasibility evaluation of residential photovoltaic self-consumption projects in Peru". *Renewable Energy* 136 (2): 414-427.10.1016/j.renene.2019.01.003
- Fontana, F. 2017. *Análisis de costes y de rentabilidad económica de la tecnología solar fotovoltaica en viviendas residenciales para autoconsumo*. Tesis de Maestría. Universidad de Internacional de Andalucía. Sevilla (España).
- Gradella, M. 2017. *Energía Solar Fotovoltaica*. Ciu-

- dad de Brasil (Brasil): Érica.
- IEA (International Energy Agency). 2020. *Shaping a secure and sustainable energy future for all*. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020> (Consultada el 24 de abril 2022)
- IRENA (International Renewable Energy Agency). 2021. *Apoyo a la integración energética en América Latina y el Caribe*. <https://www.irena.org/> (Consultada el 23 de abril 2022)
- NU (Naciones Unidas). 2019. *El papel de los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible | Naciones Unidas*. <https://www.un.org/es/chronicle/article/el-papel-de-los-combustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible> (Consultada el 5 de marzo del 2022)
- Pasqual, J., y E. Padilla. 2011. "La tasa de descuento y la sostenibilidad en la evaluación de proyectos con impacto ambiental". *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente* 7 (1): 39-47.
- Rascón, J., W. Gosgot, L. Quiñones, M. Oliva, y M. Á. Barrera. 2021. "Eventos secos y húmedos en poblaciones andinas del norte de Perú: Un estudio de caso de Chachapoyas, Perú". *Frontiers in Environmental Science* 9 (1): 1-16. DOI: 10.3389/fenvs.2021.614438
- Restrepo, F. C. 2018. "Tasa de descuento ambiental Gamma: Una aplicación para-Colombia". *Lecturas de Economía* 69: 143-162.
- Romero, I., E. Muñoz, R. Espinoza, G. Nofuentes and J. Casa. 2019. "Analysis of the Performance of Various PV Module Technologies in Peru". *Energies* 12 (1): 1 - 19 . DOI:10.3390/en12010186
- Sánchez, A. 2017. *Planta de Generación Fotovoltaica de 27.0 kW. FORDECYT*. http://www.fordecyt.ier.unam.mx/html/fotovoltaicas_cemitt_2.html (Consultada el 25 marzo de 2022)
- SMA (Solar Technology AG). 2021. *Ficha Técnica - SUNNY BOY*. <https://www.technosun.com/descargas/SMA-SB3000TL-SB4000TL-SB5000TL-ES>. (Consultada 25 de Marzo de 2022)
- SMA (Solar Technology AG). 2018. *Coficiente de rendimiento—Factor de calidad de la instalación fotovoltaica*. Informe Técnico. Berlín (Alemania)
- SMA (Solar Technology AG). 2016. *Instrucciones de instalación—Sustitución de equipos de SMA en plantas con productos de comunicación de SMA*. SMA. Informe Técnico. Kassel (Alemania)
- Torres, J. 2019. *Análisis de reducción de gases de efecto invernadero con la implementación de celdas solares conectado a red para generación de energía - cp sora 2019*. Tesis de Grado. Universidad Nacional del Altiplano. Puno (Perú).
- Yingli Solar. (2021). *Ficha técnica-Panel solar yingli*. <https://www.solartex.co/tienda/producto/panel-solar-410-watts-monoperc-yingli-solar/>
- Zwaan, B., 2016. "Energy technology roll-out for climate change mitigation: A multi-model study for Latin America". *Energy Economics* 56 : 526 - 542 . DOI:10.1016/j.eneco.2015.11.019.